

基于负荷分类的备自投配合及投退控制策略

苏宜强, 伏祥运

(连云港供电公司, 江苏 连云港 222004)

摘 要: 备用电源自投装置(简称备自投)是电力系统提高供电可靠性的一种有效手段。电网中某一N-1故障可能导致多个备自投动作,为此制定合理的备自投投退控制策略需考虑多个备自投之间的投退组合以及上下级备自投动作时限的配合问题。分析了备用电源侧容量极限对备自投的影响,在对负荷按可靠性需求进行分类的基础上,提出了基于负荷分类的备自投配合及投退控制策略,该策略能够保证设备安全运行的同时,提供最优的供电方案。算例分析表明,高峰负荷时该策略能够保证地区电网整体的供电可靠性,符合电网的实际情况,具有一定的实用性。

关键词: 地区电网; 备自投; 备自投配合; 备自投投退; 控制策略; 负荷分类

0 引言

与省级电网不同,地区电网多呈辐射状,220kV电网闭环设计,闭环运行,110kV及以下电网闭环设计,开环运行。为提高供电可靠性,110kV及以下电网中装设了备用电源自动投入装置(简称备自投或BATS)。当电网发生故障导致母线停电时,满足动作条件的备自投会动作,合上备用电源给停电母线供电,从而提高供电可靠性^[1-4]。

高峰负荷时,备自投的动作可能导致备用电源侧的过负荷^[5],现场一般通过停用备自投的方法来解决上述问题^[7],如文献[6]提出利用“检和流”过负荷闭锁方案解决备自投动作导致主变过负荷问题,文献[8]提出基于N-1准则的备自投投退控制策略,并从电网全局角度考虑备用电源侧的热稳定极限对备自投的影响,提前停用可能导致备用电源侧严重越限的备自投,文献[9]在文献[8]的基础上提出基于N-1故障集的备自投投退控制策略,文献[10]提出基于备用电源侧可用供电能力的备自投投退策略,以上文献都仅探讨了通过备自投投退的组合问题解决备用电源严重过载的问题,而未考虑利用上下级备自投动作时限配合来解决这一问题,如文献[11]曾提出按照停电母线的电压等级为BATS设置动作时限实现上下级BATS的配合。

实际上,电网中的各类负荷对供电可靠性需求不同,结合各类电力负荷的可靠性要求,才能优化备自投之间的投退组合,制定合理的上下级备自投动作时限的配合方案。本文首先分析了备用电源侧

容量极限对备自投影响,在负荷可靠性分类的基础上,提出了基于负荷分类的备自投配合及投退控制策略,保证电源侧元件在容量极限之内安全运行的同时,提供最优化的供电方案,满足供电可靠性要求。

1 变压器及线路的容量极限

地区电网中,对备自投投退有影响的备用电源侧元件有110kV主变、110kV线路、220kV主变、220kV线路^[8]。容量极限是指在事故情况下,由于系统的负荷重新分配,有可能部分变压器或线路的负荷严重超过额定值或是过负荷持续较长时间的情况下,允许变压器或线路输送功率的最高限额。

文献[12]探讨了变压器过负荷能力的计算,提出根据每台变压器的温升数据计算每台变压器的过负荷能力的方法,以求尽量挖掘变压器的容量资源。文献[13]对影响线路导线载流量的因素进行了分析,分析了线路的过负荷能力。文献[14]为电网事故期间备自投投退提出了指导性意见,两台主变变电所的变压器的容量极限取1.4倍的额定容量,三台主变变电所的变压器的容量极限取1.5倍的额定容量,线路的极限容量取1.5倍的额定容量。

2 变电站情况介绍及备自投投退

高峰负荷期间,当备自投动作必然造成设备元件的严重过载,超过容量极限时,应提前停用相关备自投,以下介绍应提前停用备自投的几种情况。

2.1 110kV变电站

地区电网中的110kV变电站典型接线方式如图1所示，正常运行方式为线路L1和L2各带一台主变运行，并启用110kV母联备自投或10kV母联备自投。

1) 110kV母联备自投启用时

若线路L1发生故障，则110kV母联备自投动作，110kVI、II段母线负荷倒至线路L2供电，若110kV母联备自投动作导致线路L2的严重过载，应提前停用该110kV母联备自投。

2) 10kV母联备自投启用时

若线路L1或是1#主变故障，10kV母联备自投动作，10kVI、II段母线负荷将倒至线路L1及1#主变供应。若上述备自投动作导致主变或线路的严重过载，应提前停用该10kV母联备自投。

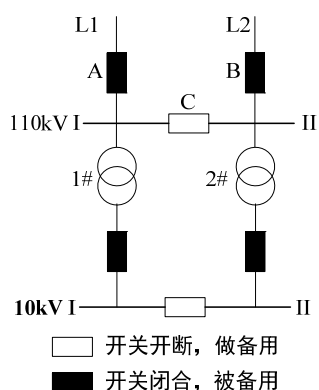


图1 110kV 变电站模型

2.2 220kV变电站

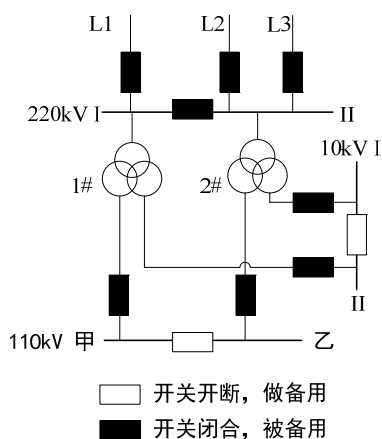


图2 220kV 变电站模型

地区电网中220kV变电站通常含有两条以上电源线，且220kV侧合环运行，接线方式如图2所示，线路L1, L2, L3进线开关均为运行状态。由于220kV线路的输送容量较主变容量大很多，某一条线路故障跳闸后，并不影响220kV变电所的供电，因此启

用备自投的主要约束因素是主变的容量极限。如图2所示，两台主变的110kV、10kV侧分列运行，启用110kV侧和10kV侧母联备自投，互为备用。

当一台主变故障，备自投动作将中低压侧负荷转移至另一台主变供电时，若主变严重过载，应停用该110kV和10kV侧母联备自投。

高峰负荷期间，主变的负载率一般达到满载，因此，一台主变故障跳闸，备自投动作后，必然导致另一台主变负荷超过容量极限，对设备造成严重的冲击，甚至引起跳闸等连锁反应，传统的方式是提前停用备自投。实际上，停用下级备自投或者下级备自投优先动作，便可减轻事故后主变的负荷，不需要提前停用备自投。

2.3 110kV T接线路

在地区电网中，大量使用了T接线方式^[15]，其线路末端均安装了110kV母联备自投或10kV母联备自投提高了供电可靠性。图3所示的接线方式下，L1线所带的母线A、D与L2线所带的B、C通过BATS1和BATS2分别互为备用。当L1线故障，则母线A、D失去电源，BATS1和BATS2都动作时，L2线过载，一般的做法是根据停用一组或两组备自投，实际上应按照负荷的重要性视线路的容载情况停用相关备自投更为合理。

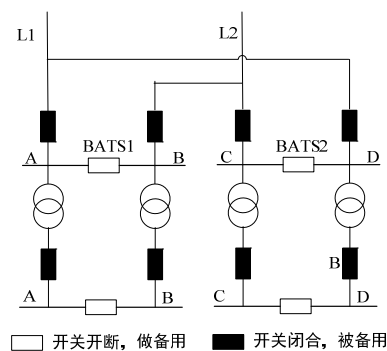


图3 110kV T 接线路

3 备自投配合及投退组合研究

3.1 备自投的配合

备自投配合是指电网发生故障，母线失电后，备自投动作的先后顺序，通过设定各备自投的动作时限实现上下级备自投之间的配合。

地区电网中一般按照停电母线的电压等级为BATS 设置动作时限实现上下级 BATS 的配合^[11]，其优点是高压等级母线失电时，仅上级备自投动作，电网运行方式变化小，便于现场运行人员的生

产和管理；缺点是容易造成上级主变的严重过载。文献[8,9,11]针对这一问题研究了备自投投退组合策略，即 N-1 故障状态下，备自投动作导致某设备

元件的严重过载时，提前退出相关的备自投，防止元件的严重过载。但是，这一策略将造成多个变电所单电源供电，降低了地区电网的供电可靠性。

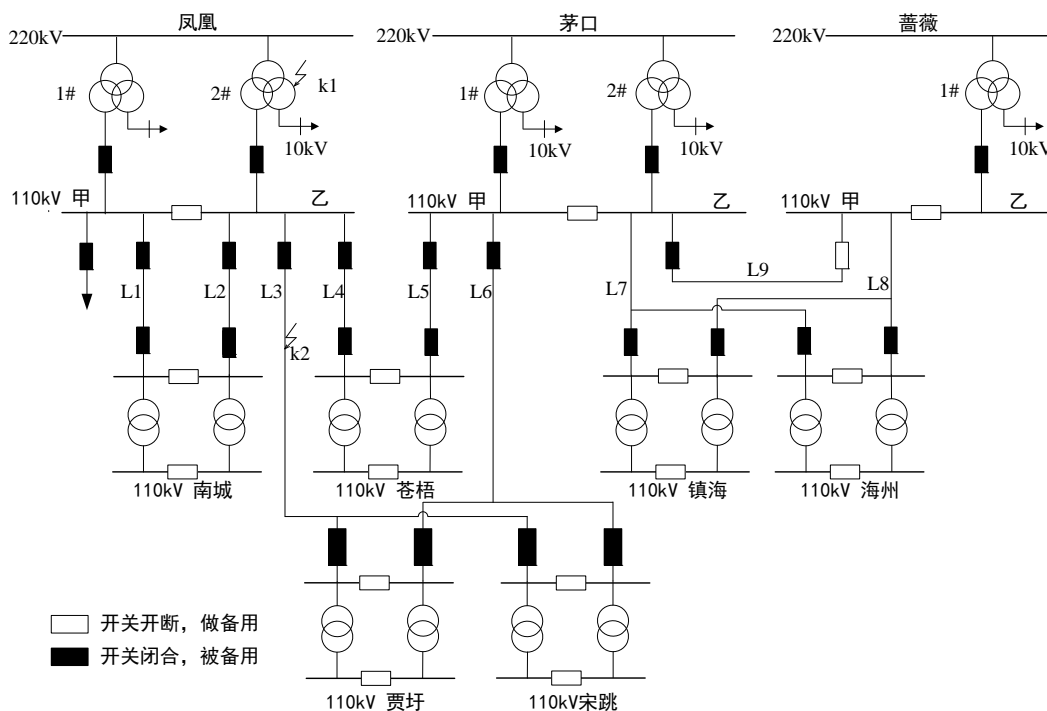


图 4 连云港地区部分电网

如图 4 所示，220kV 凤凰变，高峰负荷期间，1#、2#主变负载率达到 80%左右，若 2#主变故障（k1），线路 L2、L3、L4 失电，按照文献[11]上级备自投优先下级备自投的原则，凤凰变 110kV 备自投优先动作，将 110kV 乙母线负荷倒至 1#主变供电，造成主变的严重过载。按照文献[8,9,11]的投退控制策略提前停用凤凰变 110kV 备自投，将导致多个变电站失去负荷。本文设想，如果先将凤凰变部分负荷倒走，将 110kV 乙母线剩余负荷倒至 1#主变供电，便不会造成主变的严重过载。因此有必要根据负荷的可靠性需求研究哪些备自投应优先动作。

3.2 负荷分类及可靠性要求

110kV 变电站两段 10kV 母线一般为分列运行，将地区电网中的某一段 10kV 母线视为最小负荷单元。10kV 负荷单元按失电后是否可以转移至其他变电站供电分为可转移负荷和不可转移负荷。如图 1 所示，若线路 L1 或 1#主变故障，10kV I 段母线负荷转移至 2#主变供电不会引起线路 L2 及 2#主变的过载，10kV I 段母线负荷称为可转移负荷，否则称为不可转移负荷。

为了更加客观地按供电可靠性对负荷进行分

类，10kV 负荷单元按可靠性要求分为三类：

I 类负荷：上级电源故障时，要求连续供电，并且保证一路电源备用。

II 类负荷：上级电源故障时，要求持续供电，不需用备用电源。

III 类负荷：上级电源故障时，可以短时停电。

3.3 备自投配合及投退探讨

通过第 2 节分析可知，备自投动将有可能导致 220kV 主变、110kV 线路、110kV 主变严重过载，下文将在负荷分类的基础上就备自投的配合及投退提出解决方案。

(1) 110kV 主变

若 110kV 变电站中某台主变故障，110kV 变电站中备自投动作导致另一台主变的严重过载，提前停用备自投。该变电站内 10kV 负荷单元为不可转移负荷。

(2) 110kV 线路

若某一线路故障，无法恢复，相关变电站备自投动作，将负荷倒至备用电源线路供电，有可能导致主变的过载。如图 4 所示，线路 L3 故障（k2），若贾圩变、宋跳变备自投未闭锁，可能导致线路 L6

的严重过载。为此，结合 10kV 负荷单元的分类，应提前停用含有 III 类负荷变电站的备自投。

(3) 220kV 主变

220kV 变电站某台主变故障时，若备自投动作导致另一台主变（备用电源）越限，希望 220kV 变电站内 110kV 母联备自投仍能正常动作，但是需要将部分 II、III 类负荷优先转移到其他变电站，或是提前停用 III 类负荷的备用电源。

如图 4 中的凤凰高峰负荷期间，1#、2#主变负载率达到 80% 左右，若 2#主变故障（k2），线路 L2、L3、L4 短时失电，凤凰变 110kV 母联备自投、南城变、苍梧变、贾圩变、宋跳变满足备自投动作条件：

1) 按照上级备自投优先下级备自投的原则，必将导致 1#主变的严重过载，甚至导致 1#主变跳闸，引发连锁停电。

2) 调整备自投的配合方案，即 II 类负荷变电站备自投优先动作，上级 220kV 母联备自投再动作，I 类负荷变电站备自投延迟动作，部分 III 类负荷变电站的备自投停用。

3.4 备自投配合及投退优化

前文已经探讨过备自投配合及备自投投退组合，本节将通过算法筛选出最优的组合。首先通过网络拓扑分析，确定备自投的上下级关系。采集主变、线路的实际负荷，并参照主变、线路的容量约束条件。执行 110kV 主变防越限策略、110kV 线路防越限策略、220kV 主变防越限策略即可保证备自投配合及投退组合的最优化。

(1) 110kV 主变防越限策略

对地区电网进线网络拓扑分析，建立上下级备自投关系，遍历地区电网的 N-1 故障，考察可能导致 110kV 主变越限的情况，若 110kV 变电站备自投动作导致主变负荷超过容量极限时提前停用该备自投。见图 5。

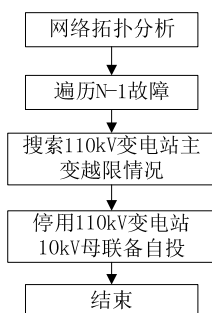


图 5 110kV 主变防越限策略

(2) 110kV 线路防越限策略

在执行 110kV 主变防越限策略的基础上，遍历地区电网的 N-1 故障，考察可能导致 110kV 线路越限的情况，对于非 T 接线路，若下级变电站备自投动作导致线路越限，应停用该 110kV 变电站备自投。对于 T 接线路，若某一条线路失电，相关下级变电站备自投动作，导致 T 接线路的过载，应按照负荷的分类及其重要性，提高 II 类负荷变电站的备自投动作优先级或是停用部分 III 类负荷变电站的备自投。见图 6。

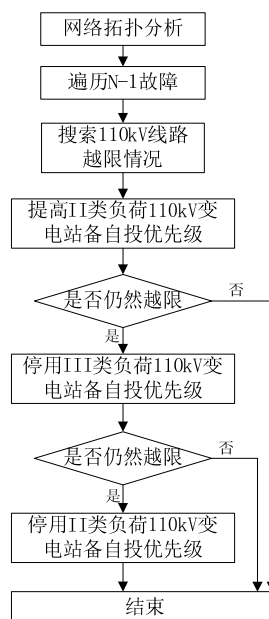


图 6 110kV 线路防越限策略

(3) 220kV 主变防越限策略

在执行 110kV 主变、110kV 线路防越限策略的基础上，遍历地区电网的 N-1 故障，考察可能导致 220kV 主变越限的情况，若 220kV 主变故障，备自投动作导致另一主变负荷超越容量极限时，也应按照负荷的分类及其重要性，提高 II 类负荷变电站的备自投动作优先级或是停用部分 III 类负荷变电站的备自投，直至 N-1 故障不会导致主变的越限。

4 算例比较

基于上述备自投配合及备自投投退组合策略的探讨，针对部分连云港地区电网的备自投配合和备自投投退组合进行了分析。以凤凰变2#主变故障为例，分析了高峰负荷期间凤凰变2#主变故障时，失电负荷的恢复状况及供电可靠性。

表1 变电站容量及负荷分类

主变	容量/MVA	负荷/MVA	负荷类型
凤凰1#变	120	80	I
凤凰2#变	180	93	I
南城1#变	63	18	II
南城2#变	80	24	II
苍梧1#变	63	32	I
苍梧2#变	50	15	I
贾圩1#变	31.5	17	II
贾圩2#变	50	14	II
宋跳1#变	31.5	20	III
宋跳2#变	50	21	III

表2为按照电压等级的备自投配合时备自投动作结果。凤凰变110kV母联备自投优先动作，下级备自投再动作，凤凰2#主变故障时，凤凰变110kV母联备自投优先动作，负荷倒至1#主变，因1#主变严重过限，主变跳闸，下级变电所的负荷倒至茅口1#主变（备用电源），如表2所示。实际上，茅口1#变也会严重越限，将会引发连锁停电，扩大事故范围。

表2 按电压等级配合时备自投动作结果

主变	容量/MVA	负荷/MVA	负载情况
凤凰1#变	120	173	110kV母联备自投动作，1#主
凤凰2#变	180	0	变严重越限，倒至跳闸
南城1#变	63	18	线路L1、L2失电，全所失电
南城2#变	80	24	
苍梧1#变	63	32	负荷倒至茅口1#主变
苍梧2#变	50	15	
贾圩1#变	31.5	17	负荷倒至茅口1#主变
贾圩2#变	50	14	
宋跳1#变	31.5	20	负荷倒至茅口1#主变
宋跳2#变	50	21	

表3为基于负荷分类的备自投动作结果，贾圩变（II类负荷）备自投优先动作，凤凰变备自投（上级备自投）再动作，苍梧变（I类负荷）再动作，宋跳变（III类负荷）不动作，既能保证苍梧变的供电可靠性，又不会导致凤凰1#变和茅口1#变的严重过载。

表3 基于负荷分类备自投动作结果

主变	容量/MVA	负荷/MVA	负荷类型
凤凰1#变	120	141	110kV母联备自投动作，负荷倒
凤凰2#变	180	0	至1#主变
南城1#变	63	18	线路L2送电，备自投不动作
南城2#变	80	24	
苍梧1#变	63	32	线路L3送电，备自投不动作
苍梧2#变	50	15	
贾圩1#变	31.5	0	备自投优先动作，负荷倒至凤
贾圩2#变	50	31	凰2#变供电
宋跳1#变	31.5	20	备自投停用，待凤凰变备自投
宋跳2#变	50	21	动作后，宋跳1#变送电

通过对比表2和表3可以看出，基于负荷分类的备自投配合及投退控制策略较按电压等级进线配合时在安全供电和可靠性方面有很大提高。

5 结束语

通过研究地区电网中备用电源对备自投的影响，确定了备自投停用的几种情况。在对负荷按可靠性进行分类的基础上，提出了基于负荷分类的备自投动作时限的配合及投退控制策略。文中提出的备自投配合及投退方案的寻优算法不仅手工计算简洁方便，也为决策支持软件的编制提供了很好的思路，为实际电网中备自投的合理投退提供了参考，具有一定的实用性。

参考文献

[1] 管霖, 冯焱, 刘莎, 等. 大规模配电网可靠性指标的近似估测算法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(10): 92-98.

[2] 程亮, 茅建华, 赵继东. 基于 TCP/IP 以太网络技术的数字变电站备用电源自投装置的研制[J]. 电网技术, 2004, 28(22): 81-83.

[3] 黄梅. 电力系统自动装置[M]. 北京: 中国电力出版社: 2-10.

[4] 谢莹华, 王成山. 基于馈线分区的中压配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 36-37.

[5] 唐海军, 杨承卫, 姚翔, 等. 电网备用电源自动投入的实践与思考[J]. 电力自动化设备, 2005, 28(5): 100-101.

[6] 冯玲. 如何防止备自投动作后造成过负荷[J]. 电气时代, 2006(11): 106-107.

[7] 高虎元. 备自投防止过负荷的分析[J]. 硅谷, 2011(20): 153-155.

[8] 邱健, 蔡泽祥, 李爱民. 等. 基于 N-1 准则的备自投投退控制策略[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 66. 71.

[9] 刘若溪, 张建华, 苏玲, 等. 地区电网备自投在线投退控制策略(一)备自投投退组合在线动态选择新方法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31 (3): 1-6.

[10] 刘若溪, 张建华, 李更戡. 等. 地区电网备自投在线投退控制策略(一)备自投投退组合在线动态选择新方法[J]. 电力自动化设备, 2011, 31 (3): 1-6.

[11] 陈勇, 姚卡斌, 夏翔, 等. 考虑备自投的地区电网静态安全分析设计与应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 84-87.

[12] 卞超, 李军. 大型电力变压器过负荷能力计算[J]. 江苏电机工程, 2005 (02): 12-14.

- [13] 刘春艳,李钊年,李文秀,等. 高原环境下 110kV城网迎峰过冬的可行性研究[J].电力系统保护与控制,2009,37(8): 63-66.
- [14] 江苏电力公司. 江苏电力系统调度规程[Z]. 2012.
- [15] 何银菊,宋玮,周庆捷,等. 面向对象的电力系统潮流计算与静态安全分析[J]. 电网技术, 2001, 25(8): 13-14.

作者简介:

苏宜强 (1985-), 男, 江苏连云港人, 工程师, 从事电网调度工作;

伏祥运 (1977-), 男, 江苏连云港人, 高级工程师, 从事电网调度管理工作。